

【217】

氏名	丹 羽 雅 子 に わ ま さ こ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 231 号
学位授与の日付	昭 和 43 年 11 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	被服材料の力学的性能に関する基礎的研究

論文調査委員 (主 査)  
教授 河合弘迪 教授 小野木重治 教授 辻和一郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、平織組織をもつ織物の力学的性質を、織物を構成する糸の力学的性質と織物の構造とから理論的に誘導し、かつ実験的にその理論式の精度を確認したもので全11章から成っている。

第1章は緒論で、著者は被服材料の力学的性質が被服の機能に重要な役割を果していることを説明し、さらに力学的性質の中でも、二軸伸長、一軸伸長、一般にこれらの伸長下でのせん断、および曲げなどの変形に対する力学的特性が重要であることを述べている。最後に従来のこの分野における研究を展望し、理論的解析がほとんど未解決のまま現在に至っていることを詳述するとともに、著者の研究成果の位置づけを行なっている。

第2章は、平織物の力学的性質を糸の力学的性質と織物構造とから誘導する際に用いる構造模型を論じたものである。平織物は比較的簡単な繰返し構造をもつが、幾何学的にはなおかなり複雑な構造を有している。まず織物を構成する糸そのものが繊維の加撚収束体であって、複雑な構造をもっており、その糸がさらに屈曲しつつ織物構造を構成しているので、構造力学的計算を行なうにはこのままでは極めて困難であり、なんらかの単純模型化を必要とする。

従来の研究においても、これを極めて単純化した構造、たとえば弾性棒が屈曲して金網状の平板を形成した模型を用いるなど実際から遊離した仮定の下に解析を行なったものが多いが、本論文では糸のふくらみをもつ構造に基づく横圧縮性や糸の伸長に際する非線形的力学特性をも計算に導入できるような、しかも単純化した構造模型を提案し、この構造模型を一貫して使用し、以下の理論計算が実施されている。またこの模型のもう一つの特長は、織縮み、織密度など計測の容易なしかも工業的に一般に用いられる織物構造因子がそのまま使用できる点である。

第3章は力学特性のうち最も基本的とされる二軸伸長変形に対する特性の理論的解析を扱っている。直交するたて糸群とよこ糸群のそれぞれの配列方向に伸長比 $\lambda_1$  および $\lambda_2$ の伸長変形を与えると、伸長に必要な二方向の張力 $F_1$  および $F_2$ を糸の引張特性、横圧縮特性、および織物構造から誘導している。誘導に

際し、糸の張力と伸びの関係を与えられた条件として用いているが、その関係は直線的でなく、ヒステリシスをともなう非線形特性を一般に示すが、そのような関係をそのまま理論式に導入して解く図式解法を開発している。

二軸変形のうち一つの特別な場合が一軸変形であるが、第4章では特にこの場合について理論的解析を行なっている。前記の二軸変形理論ではたて糸およびよこ糸の各方向への伸長に伴い両者の交叉点で互いに押し合う力が発生し、これと糸張力との平衡から伸長に伴う織物の構造変化を導いたのであるが、この理論では一軸変形ではこの押し合う力が発生しないことになる。しかし実際には僅かではあるが、これが存在することから、この力の発生源に着目し、これが糸の屈曲角の変化に伴う糸内部での繊維相互のずれに基因していることを理論的に明らかにするとともに、その力の計算を行なっている。前章の結果と合せ構造主軸方向への伸長特性を定量的に導いている。

第5章では、これまでの解析において糸を主として非線形特性をもつ弾性体としての解析を行なっているのに対し、糸が粘弾性的性質を有する場合の織物の同性質を応力緩和特性を例にとりて理論的に誘導することを試みている。織物を二軸方向に任意の比率で伸長した状態を考えると織物を構成するたて糸とよこ糸には張力が生じるが、それらの張力が糸の粘弾性特性によって時間の経過とともに減少し、一般には両糸の交叉点における三次元的な力の均合い状態が変化するため織物の単位組織における立体構造が変化し、この変化過程から織物の張力緩和特性が誘導されることを示している。特にたて糸とよこ糸が同じ張力緩和特性をもつ場合には、織物の構造が時間的に変化することなく、糸の張力緩和特性がそのまま織物のそれとして現われる結果が導かれている。

第6章では織物のせん断変形に対する力学的性質が前章までと同様の立場で解析されている。織物のもっとも特徴的な力学的性質は、構造主軸方向、すなわちたて糸またはよこ糸方向への伸長特性に対し、伸長方向をそれら主軸方向から回転させた方向では極めて変形しやすいという力学的異方性にあるが、この極端な直交異方性は織物がせん断変形に対して抵抗が極めて小さいという性質に基づいている。この性質は織物が人体曲面を抵抗なく包むという機能に直結しており、このせん断変形特性は、糸の伸長特性、織物の構造に加えて、新しくたて糸とよこ糸の交叉点において両糸の交叉角を変化させるのに必要なトルクをその点における両糸の圧着力の関数として知れば、これら三者から誘導されることを理論的に導いている。

実際に織物が使用されるとき、織物は一般に連続体における平面ひずみ状態に相当する二軸方向の伸長変形とせん断変形を同時に受けるが、このような状態でのせん断変形特性をも扱っており、第3章での二軸伸長理論を用いて二軸伸長時における構造主軸方向の力と交叉点における圧着力を計算し、これに交叉角変化に対するトルク特性を加えて、これらと外力との平衡からせん断変形理論を組立てている。

第7章は伸長特性の異方性についての理論計算を取扱っている。この異方性は織物の構造主軸方向への伸長特性理論と第6章のせん断変形理論を用いて誘導されている。その特別の場合として、一軸伸長時の異方性、および一軸拘束下の二軸伸長時での異方性が計算例として特に詳しく解析されており、前者について伸長方向を構造主軸から $45^\circ$ 以内にとった場合、試料が伸長変形とともに蛇行状に曲がる現象が理論的に導かれている。

第8章は織物の曲げ変形理論である。織物の被服材料としての適性にはやわらかく曲りやすいという特性が大きく関与している。この曲げ変形特性を織物が比較的薄いシート状であり、その曲げ挙動はあたかも細い弾性棒の曲げ変形と同様に、いわゆるエラスチカの問題として取扱うると考え、弾性的性質を与える曲げ剛性Bを繊維の曲げ剛性と織物の構造から誘導しているが、さらに織物の曲げに伴って糸の内部に生じる繊維間のずれの量を幾何学的に計算し、Bのほかに曲率に依存しないでクーロン摩擦に基づく曲げ剛性Cを誘導し、織物の曲げ挙動にみられるヒステリシス現象を解明している。

第9章は実験的研究をとりまとめたものである。ここでは二軸伸長特性、一軸伸長特性、さらに伸長特性の異方性について理論計算と実測値との比較を行っており、理論計算の精度の良好なことを豊富な実験によって実証している。また糸の力学的特性の一つとして二本の糸を互いに交叉横圧し、かつ交叉角を変化させるときのトルク測定を行っているが、この特性が織物の力学的性質の計算に重要であることを実験的にも明らかにしている。

第10章は理論の実用的応用例を取扱っている。第8章までの理論は織物構造を有する構造体の力学的性質の定量的表現という純力学的見地からの応用性のみならず、具体的に繊維工業や被服の性能に関する消費科学的な方面への直接の応用性を含んでいる。その二、三の例を本章で取扱っており、まず被服の着用時に汗などによって被服材料である織物が吸湿するとき、その力学的性質がいかに変化するかという例を、糸や繊維の同特性が既知であれば予知しうることを示している。第二の例として、糸の側面からの横圧に対する圧縮特性が織物の力学的性質にいかに関係するか、また繊維の弾性係数や摩擦係数が織物の伸長特性やそのヒステリシス特性にいかに関係するかなどその他数例について、主として織物を製造する際の製品設計上必要な実用的応用計算を行っている。

第11章は総括で論文の内容をまとめ、今後の問題点が糸の力学的性質の解明にあることを述べている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、平織組織をもつ織物の力学的性質を織物を構成する糸の力学的性質および織物構造から誘導する理論式の組立てと、実験による理論式の精度確認を行なった研究結果をとりまとめたものである。

被服材料には織物が広く用いられており、その力学的性質は被服の機能に大きく関係している重要な性質であるにかかわらず、それが織物を構成する繊維や糸の力学的性質といかに関係づけられるかという問題は今日に至るまで十分に定量化されたとはいえない。これは巨大化された人造繊維およびその二次製品製造工業が、その最終製品の性能設計に定量的手段を欠くことを意味するもので、その解決が強く要望されてきた。

織物の力学的性質はたとえ微小変形下においても非線形的であり、ときに伸長ひずみ10~20%というかなりの大変形を受け、しかも一般に平面ひずみ状態での力学的性質が重要であることから、その解析の困難さが理論的研究の発展を阻害してきたといえる。本論文はこの問題解決に大きな寄与を果しており、細部には未解決の問題を残しているながらも、全般的にはかなり普遍的な理論構成に成功したものと見える。

著者はまず単純で適切な平織物構造モデルを提出し、織物の各種変形に対しこれを例外なく一貫して適用し、力学的性質の理論計算と実験値との良好な一致を得ているが、このように比較的単純な限られた構造

模型を織物の各種変形機構に統一的に適用した例はまれであり、本論文の特長の一つがここにある。

この模型からまず織物の構造主軸方向への二軸伸長特性が理論的に誘導されているが、以下の各種変形特性の理論と同様、変形の大きさに制限がなく、大変形下でも理論が適用される点がこの分野の研究では従来例を見なかった大きな進歩といえ、かつ本理論の実用的価値を大ならしめている点といえる。すなわち従来の理論が現実的でなかった理由の一つに、織物を構成する糸を弾性体と仮定し、その微小変形のみが弾性学的手法によって取扱われていたために、この構造変化を伴う大変形挙動を取扱えなかった点にある。本論文では構造力学的立場から前述の比較的単純な模型を用いてこの点を解決しており、さらに糸の伸長特性をそのまま理論式に組みこむ手法をとっているが、この際糸の特性は必ずしも線形性を有する必要はなく、一般にヒステリシスあるいは塑性など非線形性を有する場合にも適用されるという広い一般性をもっている。さらに従来あまりにも複雑であるため無視されてきた織物中の糸の交叉点における糸相互の横圧縮特性を、織物の伸長特性に導入し、かつその解を求める図式解法を提出している。

これによって織物の手触りなどに関係する初期伸長領域における張力—伸び曲線上の大きな湾曲特性が、この横圧縮特性に大きく影響されているという事実を定量的に導いているが、これも重要な知見の一つと考えられる。

一般に繊維は粘弾性体である。そうした繊維から構成される織物も粘弾性体であることは間違いないが、その粘弾性的性質は繊維のそれとは必ずしも一致しない。これは例えば応力緩和に際して、織物は応力の緩和過程の中に同時に構造の変化をも生じるからである。これはたて糸とよこ糸の張力緩和挙動の差によって織物内部での力の均合状態が変化することに起因するが、著者は基本模型の変更を行なうことなく、織物の張力緩和を定式化しており、実用面においても貢献するところが大きい。

またせん断および曲げ変形特性についても同様に広い一般性をもたせた理論を展開しているが、これもその応用性は広い。例えば織物の力学的性質が極端な直交異方性を有することはその構造から直観的に認められる。この直交異方性が、人体などの曲面を無理なく包むという被服の機能上の重要な特性につながるのである。この特徴的なかつ重要な性質が従来から理論的に解析されていなかったのが、せん断および伸長変形理論を応用して若干の近似を含むとはいえ定量的に導かれている。

さらにこれらの理論的研究の結果の計算精度を巧に二軸引張試験機を応用して確認しているが、この種の変形状態での豊富な実験結果は従来からはほとんど得られていなかったものであるだけに、実験的研究としても価値ある結果である。

これを要するに本論文は、織物という特徴的な構造体の力学的性質を解析し、独創的な手法を用いてその複雑な性質を定式化する方法を提出したほかに、さらに近年ようやくその重要性が痛感されてきた繊維最終製品の性能設計、換言すれば繊維特性から種々の特性をもつ織物を設計製作するための技術的指針を与えたものといえる。

よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。